

무선 센서 네트워크에서의 데이터 전달 방향을 고려한 에너지 효율 개선 라우팅 프로토콜

An Energy Effective Routing Protocol for Wireless Sensor Networks Considering Migration Factor

오세웅

동의대학교 영화영상대학 게임공학과

Sei-Woong Oh(osw@deu.ac.kr)

요약

기존의 무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜로 사용되는 SPIN 프로토콜은 에너지 소모량 및 위치이동에 의한 동적 라우팅정책을 고려하지 않는 문제점이 있다. 본 논문은 기존의 SPIN 프로토콜보다 에너지 효율과 신뢰성이 높아 질 수 있도록 방향성과 에너지효율을 고려한 새로운 라우팅 프로토콜을 제안하고 효율성을 입증한다.

■ 중심어 : | 센서네트워크 | 에너지 효율 | 라우팅 프로토콜 |

Abstract

Conventional studies for SPIN protocols of wireless sensor networks are not enough to cover energy consumption and migration of sensor nodes. This study proposes a dynamic routing protocol based on the SPIN considering energy consumption and the migration, and also shows the effectiveness of the proposed routing protocol.

■ keyword : | Sensor Network | Energy Effectiveness | Routing Protocol |

1. 서론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)는 자연재해나 재앙에 따른 인명 구조, 가정 자동 시스템 등의 사람이 직접 수집하기 힘든 곳의 정보를 [그림 1]과 같이 구성하여 전달한다. [그림 1]을 보면 수개에서 수천, 수만 개의 센서 노드(sensor node), 센서 노드들이 구성하고 있는 센서 필드(sensor field), 사용자와 직접적인 연결을 담당하는 싱크 노드(sink node)로 구성되어 있다[1]. 이러한 각 센서 노드들은

초경량, 초소형, 저가, 저전력 등을 요구한다. 이러한 요구사항으로 인하여 자원 사용의 제약, 무한한 전원 공급의 불가능 등으로 일반 유·무선 네트워크의 프로토콜 구조를 이용하기는 힘들다[1][2].

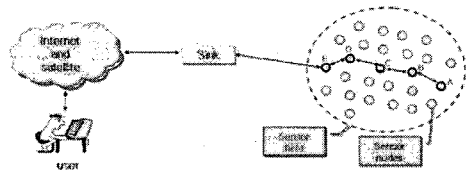


그림 1. 무선 센서 네트워크의 구성도

기존의 연구[3-6]에서는 센서 네트워크 내의 모든 노드들에게 데이터를 분산(disseminate)시켜 전달하고, 그 과정에서 협상을 이용한 중복된 데이터 줄이는 방법으로 에너지 효율을 향상시키는 방법을 제시하였으나 불필요한 에너지 소모로 인한 효율성이 떨어지는 문제가 있다[7].

본 논문에서는 기존의 센서 네트워크 프로토콜 연구 중, 소스 노드와 싱크노드 사이의 방향성을 가지는 프로토콜[3]의 문제점인 특정 노드로의 데이터 집중으로 인한 특정노드의 에너지 감소문제와 방향성이 없는 프로토콜[5]의 문제점인 불필요한 메시지가 발생하여 에너지 소모량 증대 문제점을 해결하기 위해 SPIN 프로토콜을 개선하는 프로토콜을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 관련 연구를 설명하고 3절에서는 제안한 방향성을 가진 데이터 전달 프로토콜에 대해서 설명하며, 4절에서는 고정되지 않은 경로를 이용한 데이터 전송 방식 중 하나인 SPIN 프로토콜과 성능 비교하여 분석한다. 마지막으로 결과 및 향후 과제를 5절에서 설명한다.

II. 관련 연구

본 절에서는 무선 센서 네트워크에서의 데이터 전송 방식을 고정된 경로를 이용하여 수집된 정보를 전달하는 방식과 고정되지 않은 경로를 이용하여 목적지 노드까지의 정보를 전달하는 방식으로 나누어 설명한다.

1. 고정된 경로를 이용한 데이터 전송 방식

센서 네트워크 초기 형성시 목적지 노드로부터 질의에 의해 생성된 경사(gradient)를 이용하거나[3], 각 노드들이 목적지 노드까지 최소 비용 측정치를 이용하여[4] 데이터 전송 경로를 고정시키고, 이 경로를 이용하여 전달하는 방식들이 있다. 소스 노드에서 목적지 노드까지의 데이터 전달 시간이 단축되고, 플러

딩 전송 방식으로 인한 데이터 중복(redundancy) 및 오버랩(overlap)의 문제점을 해결하여 센서 네트워크의 전체 데이터 트래픽을 줄여 에너지 효율을 높였다. 하지만, 경로에 포함된 노드의 에러 발생에 따른 대처 능력이 떨어지는 문제점과 센서 노드의 확장 및 동적인 위치 변화에 따라 경로가 적응하는데 발생하는 지연 시간 및 신뢰성 저하를 보이는 문제점이 나타나고 있다.

2. 고정되지 않은 경로를 이용한 데이터 전송 방식

고정되지 않은 경로를 이용한 데이터 전송 방식은 센서 네트워크 내의 전체 노드들에게 수집된 정보를 분산하여 목적지 노드가 습득할 수 있도록 하는 플러딩(flooding) 방식이다. 이 방식은 데이터 중복과 오버랩 등의 문제점으로 인해 에너지 효율이 떨어지고 네트워크상의 많은 트래픽 발생으로 충돌이 늘어나 에러가 발생하고 신뢰성도 저하된다. 현재 이러한 문제점을 해결하기 위하여 많은 연구들이 진행 중이다. 그 중 하나인 SPIN 프로토콜[5][6]은 [그림 2]와 같이 데이터를 전달하려고 하는 노드와 인근 노드들간 meta-data(ADV, REQ message)를 이용하여 협상한 후 실제 데이터를 전송하는 방식으로 플러딩 방식의 데이터 중복과 오버랩의 문제를 해결함으로써 센서 네트워크상의 트래픽을 줄여서 에너지 효율을 높였다. 또한 협상 과정에서 메시지 잃어버림(lose)이나 충돌로 인하여 협상이 이루어지지 않을 경우 재협상을 함으로써 신뢰성을 높이고 있다. 또한 [그림 2-a]와 같이 피어투피어(peer-to-peer) 방식을 취하던 초기 연구방식을 [그림 2-b]와 같이 브로드캐스트(broadcast) 방식으로 바꿔 기존의 방식보다 에너지 효율을 향상시켜 활용도를 높였다.

하지만, 다음과 같이 불필요한 트래픽 발생으로 에너지 효율을 저하 시키고 있다. SPIN 프로토콜은 기존의 피어투피어 방식에서 브로드캐스트 방식으로 개선되면서 데이터 전달이 이웃 노드들 개수 n 번만큼의 에너지가 소비되었던 것이 $1/n$ 번의 에너지 소비로

가능해져 에너지 효율이 좋아졌다. 그러나 브로드캐스트 방식으로 인하여 신뢰성이 떨어지는 것을 보완하기 위하여 재요구 메시지를 이용함으로써 메시지의 수가 증가되어 에너지 효율 면에서 많은 효과를 보지 못한다. SPIN 프로토콜은 모든 노드에게 데이터가 전달되므로 목적지 노드까지 데이터를 전달하기 위해 실제적으로 필요한 노드뿐만 아니라 그 외의 센서 노드에게도 데이터가 전달되는 불필요한 트래픽이 발생하여 에너지 효율을 저하시키는 요소가 된다.

기타 연구에서 QoS를 고려한 연구[8]와 계층적 구조를 갖는 라우팅 프로토콜[9]에 대한 연구가 있으나 QoS를 고려하기 위한 추가적인 메시지 발생 과 특정 조건에서 동작하는 문제가 있다[7].

노드들의 다양한 상태 정보를 이용하여 협상할 수 있도록 하는 부분으로 나누어 제안한 프로토콜을 설명한다.

1. 방향성을 유도하는 에지 비용 설정 알고리즘

제안된 프로토콜은 수집된 정보를 센서 네트워크내의 모든 노드들에게 전달하여 에너지 효율이 저하되는 점을 개선하기 위하여 각 노드에 에지 비용 값을 설정하여 방향성을 가지게 함으로써 보다 나은 에너지 효율을 가지는 센서 네트워크를 제안한다.

이 에지 비용(edge Cost)은 식 (1)에 의해서 다음과 같이 계산한다. 각 노드의 에지 비용을 C라고 하고 n은 이웃 노드들에게서 받은 에지 비용들의 집합이라고 한다면 노드의 에지 비용은 집합의 최소값에 1을 더하여 설정한다.

$$C = \min[n] + 1 \quad (1)$$

n = { 이웃 노드들의 에지비용 값 }

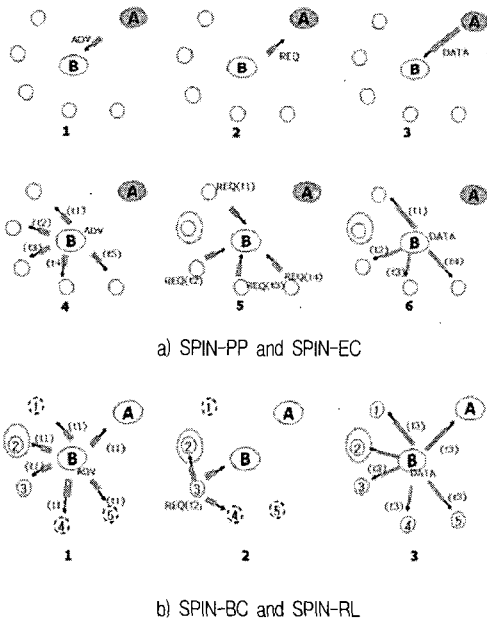
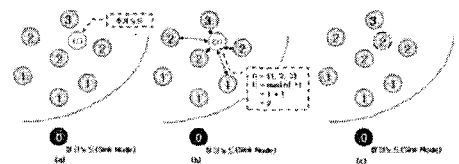
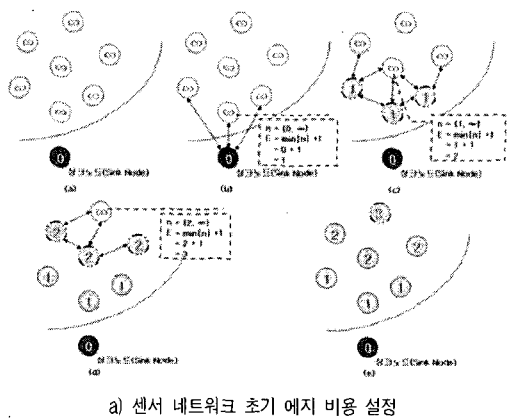


그림 2. 센서 네트워크에서 SPIN 프로토콜

III. 제안된 프로토콜

본 절에서는 데이터 이동 방향을 나타내기 위하여 각 센서 노드의 에지(edge) 값을 설정하는 부분과 각



b) 확장성을 고려한 센서 노드의 에지 비용 설정
그림 3. 방향설정을 위한 에지 비용 설정 방법

[그림 3-a]를 보면 초기 에지 비용 설정시 목적지 노드인 싱크 노드의 에지 비용을 0으로 하고 나머지 모든 센서 노드들을 무한대(∞) 값으로 설정한다. 처음 목적지 노드가 자신의 에지 비용을 인근 노드들에게 알리면 식 (1)을 이용하여 자기 자신의 에지비용을 설정하여 자기 자신의 에지 비용을 설정하고 다시 인근 노드들에게 자신의 비용을 알린다. 이러한 과정을 반복함으로써 전체 센서 노드들의 에지 비용이 설정되게 되며 목적지 노드까지 데이터를 전달하기 위해 필요한 노드수의 감소를 유발하여 전체 센서 네트워크의 메시지 수를 줄여 에너지 소비량을 낮출 수 있을 것으로 기대된다.

2. 수집된 정보를 전달하기 위한 센서 노드간의 협상 알고리즘

제한한 에지 비용설정 알고리즘만으로는 고정된 경로를 이용한 데이터를 전달하는데 발생하는 특정 노드로의 데이터 집중 문제점을 피할 수 없으므로 협상 알고리즘을 제안함으로써 이 문제를 해결하고자 한다. 또한 기존의 협상 프로토콜[6]에서는 에너지 상태만 고려하지만 제안된 프로토콜은 [표 1]과 같이 센서 노드의 내부 큐 지연 시간에 따른 상태 값도 같이 협상함으로써 효율적인 데이터 전송을 하도록 한다.

표 1. 협상에 필요한 경계 값(threshold)

	내 용
Ex	데이터 전달 지원 노드의 에너지 상태 값
Qx	센서 노드의 내부 큐 상태 값

본 논문에서 제안한 협상 알고리즘은 [그림 4]와 같다. [그림 4]에서 각 노드에 적혀 있는 숫자는 에지 비용이며 Ex는 에너지 경계 값(Energy threshold value)을 나타내고 Qy는 노드 상태 경계 값(status value)을 의미한다.

먼저 전달해야 할 데이터가 있는 노드는 먼저 자신의 이웃 노드들의 정보 테이블을 검색하여 정보가 있

을 경우 협상을 하지 않고 테이블 정보를 이용하여 이웃 노드들에게 데이터를 전달한다. 만약 이웃 노드들의 정보 테이블에 아무런 정보가 없으면 에지 비용이 3인 소스 노드가 이웃 노드들의 도움을 받아 데이터를 싱크 노드까지 전달하기 위해 [그림 4-a]와 같이 이웃 노드들에게 도움을 요청하는 메시지(REQ_HELP message)를 브로드캐스팅한다. 도움 요청 메시지(REQ_HELP message)를 받은 이웃 노드들은 도움 요청에 대해서 [그림 4-b]와 같이 지원을 하는 메시지(REQ_VOT message)로 응답을 한다. 이 지원 메시지(REP_VOT)에는 각 노드들의 현재 상태 정보(En, Qn)와 각 자신의 에지 비용(edgeCost)을 포함한다. 이때 데이터를 전달해야 하는 노드는 이웃 노드들에게서 받은 지원 메시지(REP_VOT)의 정보를 자신의 정보와 비교하여 자신보다 작은 비용을 가진 노드들을 찾고 해당 노드들의 정보를 노드의 메모리에 저장한다. 마지막으로 저장된 노드들 중에서 에너지 값과 노드 상태 값들을 비교하여 가장 상태(condition)가 좋은 노드들을 선택하고 [그림 4-c]와 같이 선택된 노드들로 실제 데이터를 보낸다. 데이터를 받은 이웃 노드들은 수신했다는 결과를 OK_MSG 메시지로 응답한다.

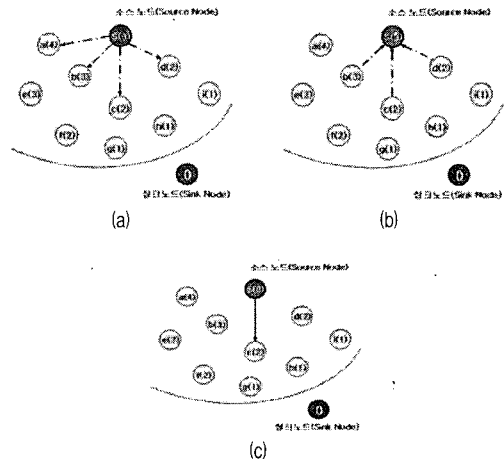


그림 4. 협상을 이용한 최적의 상태 노드를 이용한 데이터 전달 프로토콜

IV. 성능분석

본 절에서는 제안한 프로토콜에 대한 성능을 분석하기 위해 [그림 5]와 같은 무선 센서 네트워크 토폴로지 상에서 전체 노드들의 처리율 및 메시지 수를 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이터는 NS-2[10]를 이용하였으며, 시뮬레이션 환경은 [표 2]와 같다. [그림 5]에서 에지 비용이 1, 2, 3, 4, 6인 각 노드들 중 노드 번호 3, 5, 13, 22, 27 을 선택하여 각각 소스 노드로 지정하고, 목적지 노드에 정보가 도착하기까지의 전체 센서 네트워크내의 센서 노드들의 처리 시간 및 메시지 수를 측정하여 기존의 SPIN 프로토콜과 비교하였다. 또한 각 메시지 처리에 필요한 서비스 타임은 1ms, 메시지 수신 및 전달에 소비되는 전력은 0.175mW로 하였다.

표 2. 시뮬레이션 환경

	내 용
노드 개수	27개
링크 개수	51개
최대 에지 비용	7
Network losses	none
Queueing delays	Uniform(1ms)
rxPower 소비량	0.175mW
txPower 소비량	0.175mW

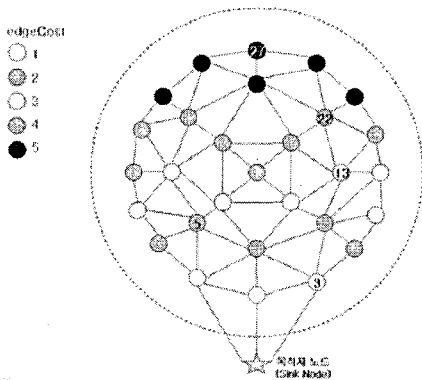


그림 5. 무선 센서 네트워크 테스트 망

본 논문에서 제안한 프로토콜과 SPIN 프로토콜의 활용도(utilization)를 비교한 결과 [그림 6]과 같이 제안한 새로운 프로토콜이 기존의 SPIN 프로토콜보다.

센서네트워크 노드들의 총 서비스 시간

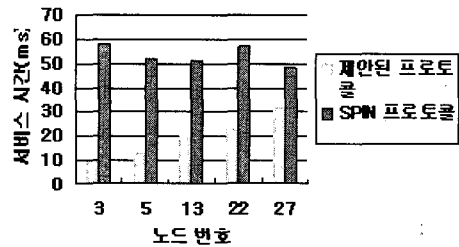


그림 6. SPIN과 제안된 프로토콜의 처리시간 비교

센서네트워크에서 발생한 전체 메시지 수

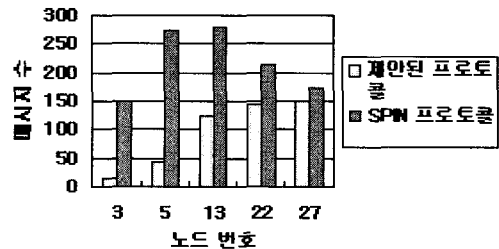


그림 7. SPIN과 제안된 프로토콜의 발생된 메시지 수 비교

전체 센서 네트워크의 노드 활용도가 좋은 경우 (best case) 90%, 나쁜 경우(worst case) 22%가 더 좋아졌음을 알 수 있으며, [그림 7]에서 메시지 발생 빈도수가 평균 57% 정도가 줄었고 [그림 8]과 같이 에너지 소비량도 약 53%정도 개선됨을 알 수 있다.

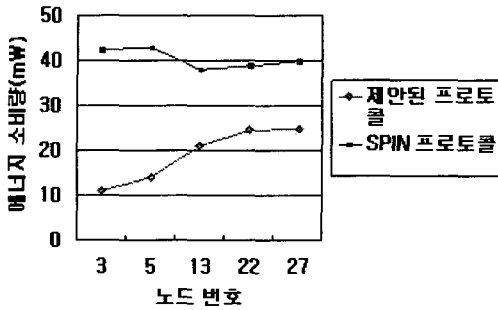


그림 8. SPIN과 제안된 프로토콜 적용시 총 에너지 소비량

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 센서 네트워크 내의 모든 노드들에게 데이터를 전달하는 방식의 SPIN 프로토콜의 방식에 데이터 전달 방향을 제시함으로써 에너지 효율이 높아지는 것을 알 수 있었다. [그림 6][그림 7][그림 8]에서와 같이 소스노드가 목적지 노드에 근접할수록 효율적이었으며 반대로 멀수록 기존의 SPIN 프로토콜에 가까운 결과를 나타내었으며 전체적으로 약 50%정도 메시지 빈도수 및 에너지 소비에 효율적임을 알 수 있었다.

이러한 결과는 SPIN 프로토콜이 갖는 문제점인 반복 메시지의 다수 발생 문제를 제안된 에지 비용 검색 및 협상 프로토콜을 통해 소스 노드와 목적지 노드사이의 방향성을 확보하고 효율적인 전달 노드를 찾는 방법으로 해결하였다. 향후 연구계획으로는 본 연구 결과물을 실제 적용하여 나타나는 제반 문제점을 해결하고 보다 현실적인 환경변수를 적용하는 것이다.

참고 문헌

[1] J. F. Akyildiz et al., "A survey on Sensor Networks," IEEE Communication Magazine, Vol.40, No.8, pp.102-114, 2002.

[2] C. Morais et al., "Mobile Ad-hoc Networking," In 20th Brazilian Symposium on Computer Networks., Short Course, pp.125-186, 2002.

[3] C. Intanagonwiwat et al., "Directed diffusion for wireless sensor networking," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.11, No.1, pp.2-16, 2003.

[4] F. Y. et al., "A scalable solution to minimum cost forwarding in large sensor networks," Proc.Tenth International Conference on Computer Communications and Networks, pp.304-309, 2001.

[5] W. R. Heizelman et al., "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," Proc. ACM Mobicom'99, pp.174-185, 1999.

[6] J. Kulik, W. R. Heizelman, and H. Balakrishnan, "Negotiation-based protocols for disseminating information in wireless sensor networks," Wireless Networks, Vol. 8, No.2-3, pp.169-185, 2002.

[7] 배정숙, 김성희, 무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜, 주간기술동향 통권 1140호, 정보통신연구진흥원, 2004.

[8] K. Sorabi et al., "Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network," IEEE Personal Communication, Vol.7, No.5, pp.16-27, 2000.

[9] W. B. Heizelman et al., "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," IEEE Trans. on Wireless Communications, Vol.1, No.4, pp.660-670, 2002.

[10] <http://www.isi.edu/vint/nsnam/>, 2000.

저자 소개

오 세 응(Sei-Woong Oh)

종신회원



- 1985년 2월 : 한양대학교 전자공학
학과(공학사)
- 1987년 2월 : 한양대학교 전자공
학과(공학석사)
- 1998년3월 : 오사카대학교 정보공
학과(공학박사)

▪ 2004년 9월~현재 : 동의대학교 게임공학과 교수

<관심분야> : 유비쿼터스 컴퓨팅, 온라인게임, 가상
현실